

# Quantennormale im physikalischen Einheitensystem

Göbel, Ernst Otto

Veröffentlicht in:  
Jahrbuch 2000 der Braunschweigischen  
Wissenschaftlichen Gesellschaft, S.61-63



J. Cramer Verlag, Braunschweig

ERNST O. GÖBEL, Braunschweig

## Quantennormale im physikalischen Einheitensystem

Braunschweig, 10.11.2000\*

Das heutige physikalische Meßwesen basiert auf dem 1960 von der Meterkonvention eingeführten Internationalen Einheitensystem (Système Internationale des Unités, SI). Den metrologischen Staatsinstituten, wie der Physikalisch-Technischen Bundesanstalt (PTB) in Braunschweig und Berlin, obliegt die entsprechende Darstellung und Weitergabe der Einheiten. Hinsichtlich der Darstellung ist man bestrebt, Verfahren zu finden, die von Ort und Zeit unabhängig sind, da sich somit ein weltweit einheitliches Meßwesen am ehesten realisieren ließe. Dazu bietet sich an, die Maßeinheiten unter Ausnutzung quantenmechanischer Phänomene oder Prinzipien auf Fundamentalkonstanten zurückzuführen, da diese, nach unserem heutigen Verständnis der Physik, in der Tat von Ort und Zeit unabhängig sein sollten.

Gelungen ist dies bei den derzeitigen Einheiten des SI für die Sekunde, die Einheit der Zeit, und das Meter, die Einheit der Länge. Beide werden letztendlich auf einen Energieabstand zweier elektronischer Niveaus in einem Caesium Atom zurückgeführt, wobei die Definition des Meters über die Festlegung des Wertes der Lichtgeschwindigkeit im Vakuum an die Sekunde angeschlossen ist. Darüber hinaus werden die Einheiten für den elektrischen Widerstand, das Ohm, und die elektrische Spannung, das Volt, heute über makroskopische Quanteneffekte, den von Klitzing-Effekt bzw. den Josephson-Effekt realisiert und dabei auf die Planck-Konstante und die Elementarladung zurückgeführt.

Die Einheit der physikalischen Größe Masse, das Kilogramm, ist im SI die einzige verbliebene, die seit 1889 durch eine Maßverkörperung, das Urkilogramm, dargestellt wird (Abb.1). Vergleichsmessungen zwischen den verschiedenen nationalen Prototypen mit dem Urkilogramm legen den Schluss nahe, dass dessen Masse sich ändert, ohne dass die dazu führenden Prozesse im einzelnen bekannt sind. Es gibt daher weltweit in den Metrologieinstituten große Anstrengungen, Methoden zur Überwachung der Stabilität des Ur-Kilogramms zu entwickeln, die sich wieder auf Fundamentalkonstanten abstützen und möglicherweise auch die Grundlage für eine Neudefinition der Masseinheit bilden könnten. Die vier aussichtsreichsten Experimente sind derzeit:

**Die Watt-Waage:** Bei der sogenannten Watt-Waage wird eine durch eine Masse bewirkte Gewichtskraft mit einer elektromagnetischen Kraft (LORENTZ-KRAFT) verglichen, wodurch sich die Einheit Kilogramm auf die Planck-Konstante  $h$  zurückführen läßt: Dieser Ansatz wird derzeit an drei Instituten, dem National Physics Laboratory (NPL) in England, dem National Institute of Standards and Technology (NIST) in USA und dem Eidgenössischen Amt für das Messwesen (EAM) in der Schweiz verfolgt.

---

\* Vortrag vor der Plenarversammlung der Braunschweigischen Wissenschaftlichen Gesellschaft



Abb. 1: Das im „Bureau International des Poids et Mesures (BIPM)“ in Sèvres bei Paris aufbewahrte Urkilogramm bestehend aus einer Pt/Ir-Legierung. Die dreifache Glasglocke dient zum Schutz des Urkilogramms.

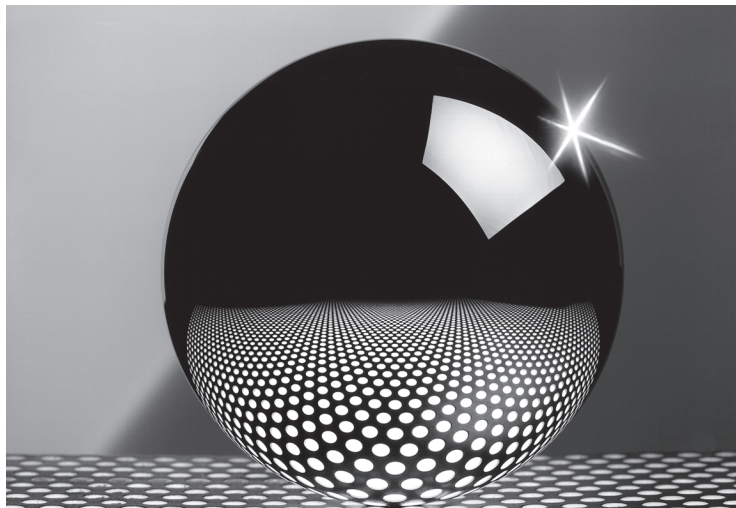


Abb. 2: Kugel aus einem Silicium Einkristall mit etwa 10 cm Durchmesser zur Bestimmung der Avogadro-Konstanten. Das Experiment besteht im Prinzip in der Bestimmung der Anzahl von Silicium Atomen in dieser Kugel.

**Das Avogadro-Projekt:** Unter dem Avogadro-Projekt werden mehrere Experimente zusammengefasst, die die Präzisionsbestimmung der Avogadro-Konstanten  $N_A$  auf der Basis eines Silicium-Einkristalles (Abb.2) zum Ziel haben, wodurch sich das Kilogramm auf die atomare Masseinheit  $u$  zurückführen ließe. Am Avogadro-Projekt sind derzeit mehrere Institute weltweit unter der Federführung der PTB beteiligt.

**Das magnetische Schwebexperiment:** Das magnetische Schwebexperiment beruht auf der Kompensation einer Gewichtskraft eines supraleitenden Massekörpers durch die Kraftwirkung, die auf den Supraleiter in einem inhomogenen Magnetfeld wirkt. Dieses Experiment wird am japanischen Metrologieinstitut (NRLM) durchgeführt.

**Das Goldionen-Akkumulationsexperiment:** Ziel des in der PTB durchgeführten Experiments ist es, in einem Masseseparator aus einem Goldionenstrahl eine wägbare Masse zu akkumulieren und die Anzahl der akkumulierten Goldatome durch die Messung und Integration des Ionenstroms über die Zeit zu ermitteln.

Herausforderung an die genannten Experimente ist es, die Masse eines Körpers mit einer relativen Unsicherheit von  $\sim 10^{-8}$  zu bestimmen. Zur Zeit hat keines dieser Experimente diese Unsicherheit erreicht, und es ist offen, welches Verfahren letztendlich „die Nase vorn haben wird“.

---

Prof. Dr. rer.nat. Ernst Otto Göbel  
Oscar-Fehr-Weg 16  
D-38116 Braunschweig